

---

*Gens, Wolfgang :*

***Verbesserung des dynamischen Verhaltens des  
drehzahlgeregelten stromrichtergespeisten Gleichstromantriebs  
bei geringer Belastung durch Parametersteuerung***

---

*Zuerst erschienen in:*

XI. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium / Technische Hochschule Ilmenau : 17.-21.10.1966 ; 2: Vortragsreihe Elektromotorische Antriebe. - Ilmenau : Technische Hochschule, 11 (1966), H. 2, S. 19-27

W. GENS

# Verbesserung des dynamischen Verhaltens des drehzahlgeregelten stromrichter- gespeisten Gleichstromantriebs bei geringer Belastung durch Parametersteuerung

## 1. Einführung

Die Regelung als wesentliches Kennzeichen der Automatisierung dringt in eine zunehmende Zahl von Gebieten der Technik ein. Die in die Regelung einbezogenen Objekte sind in regelungstechnischer Hinsicht äußerst vielgestaltig. In jüngster Zeit mehren sich die Veröffentlichungen, in denen davon berichtet wird, wie man auch Regelstrecken praktisch zufriedenstellend in die Hand bekommen kann, deren Verstärkung oder Zeitkonstanten wesentlich arbeitspunktabhängig sind. In solchen Fällen ist das dynamische und statische Verhalten nicht zufriedenstellend, wenn die Einstellung des Reglers arbeitspunktunabhängig vorgenommen wird. Es ist hier vielmehr notwendig, die Einstellung des Reglers in Abhängigkeit von der Größe zu steuern, die die Parameteränderung der Regelstrecke eindeutig signalisiert. Die nachfolgenden Ausführungen befassen sich mit der Kennwertermittlung bei einem stromrichter-  
gespeisten Gleichstromantrieb mit Drehzahlregelung und unterlagerter Stromregelung im Einrichtungsbetrieb und mit der Steuerung der Reglereinstellung zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens im Lückbetrieb.

## 2. Zusammenhang zwischen Auslegung des Gleichstromnebenschlußmotors und der erforderlichen Größe der Glättungsinduktivität beim stromrichter- gespeisten Gleichstromantrieb

Bei Gleichstromnebenschlußmaschinen ist die Kommutierung nur dann einwandfrei, wenn Ankerstrom und Wendepolfluß in jedem Betriebszustand einander proportional sind. Diese Proportionalität wird bei schnellen Stromänderungen durch die magnetische Trägheit des Wendepolkreises gestört. Sie bewirkt eine Phasenverschiebung zwischen Motorstrom und Wendepolfluß und damit eine Verschlechterung der Kommutierung. Werden Gleichstrommotoren mit massivem Joch in stromrichter-  
gespeisten Antriebsregelungen eingesetzt, so ist deren zulässige Stromänderungsgeschwindigkeit vielfach nicht ausreichend zur Realisierung des gewünschten dynamischen Verhaltens. In den letzten Jahren haben namhafte Elektromotorenhersteller Gleichstrommotoren mit geblechtem Joch auf den Markt gebracht. Derartige Motoren lassen Stromänderungsgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 150 kA s<sup>-1</sup> und mehr zu. Sie genügen damit den derzeitigen regelungstechnischen Anforderungen.

Das Problem der zulässigen Stromwelligkeit bei stromrichter-  
gespeisten Gleichstromantrieben ist identisch mit dem der zulässigen Stromänderungsgeschwindigkeit. Wird letztere vergrößert, ist vom

Motor her gesehen auch eine Erhöhung der zulässigen Stromwelligkeit möglich. Vom Antriebssystem her gesehen ist zu beachten, daß mit der Erhöhung der zulässigen Stromwelligkeit durch Verkleinerung der Kreisinduktivität eine Verschiebung der Lückgrenze zu größeren Gleichstrommittelwerten hin verbunden ist. Beim Einsatz von Gleichstromnebenschlußmotoren mit massivem Joch wird die effektive Stromwelligkeit bei Nennstrom durch entsprechende Bemessung der Glättungsdrosselspule auf  $\sim 5\%$  begrenzt. Die Lückgrenze liegt dann unter Voraussetzung gleichbleibender Aussteuerung bei etwa 10 % des Motornennstromes. Bei dem gleichen Wert liegt erfahrungsgemäß etwa der Leerlaufstrom des Motors bei unbelastetem Antrieb. Er wird folglich nur im Gebiet des lückenlosen Stromes betrieben. Wenn man die Glättungsdrosselspule entsprechend einer zulässigen Stromwelligkeit von 10 ... 15 % dimensioniert, tritt das Lücken des Ankerstromes bei 20 ... 30 % des Motorstromes auf. Die Lückgrenze liegt innerhalb des Ankerstrombereiches, der vom Motor infolge des Belastungsspiels dauernd überstrichen wird. Der Motor wird zeitweise mit lückendem Strom betrieben. Die volle Ausnutzung der zulässigen Stromwelligkeit ist vom wirtschaftlichen Standpunkt erstrebenswert, da eine Glättungsdrosselspule für einen Stromrichterantrieb (sechspulsig, 40 % Aussteuerung, 200 kW) zur Einhaltung einer zulässigen Stromwelligkeit von 10 % etwa 40 % billiger ist als eine solche für eine zulässige Stromwelligkeit von 5 %. Die Einsparungen werden mit größerer Aussteuerung und größerer Motorleistung noch etwas größer.

Vor Beantwortung der Frage, ob die erhöhte zulässige Stromwelligkeit durch Einsatz einer kleineren Glättungsdrosselspule voll ausgenutzt werden kann, muß erklärt werden, wie sich der Antrieb dynamisch verhält, wenn die Lückgrenze innerhalb des Arbeitsstrombereichs des Motors liegt.

## 3. Analyse der Drehzahlregelung des stromrichter- gespeisten Gleichstromantriebs mit dem Anker- strom als Hilfsregelgröße

### 3.1. Signalflußbild bei lückenlosem und lückendem Strom

In Bild 1 ist das Prinzipschaltbild des Stromrichter-  
antriebs angegeben, für den die nachfolgenden Betrachtungen gelten. In den Bildern 2 und 3 sind das daraus abgeleitete vollständige und das vereinfachte Signalflußbild des Drehzahlregelkreises mit unterlagertem Stromregelkreis für lückenlosen Strom dargestellt. Die Rückwirkung der inneren Motorenspannung auf die Stromaufnahme des Motors soll vernachlässigt werden.

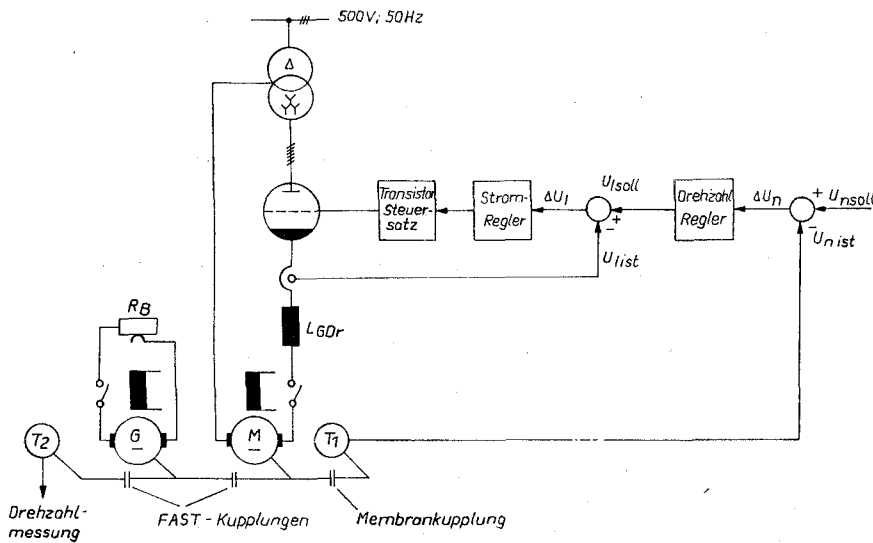


Bild 1  
Prinzipschaltbild der Versuchsanlage

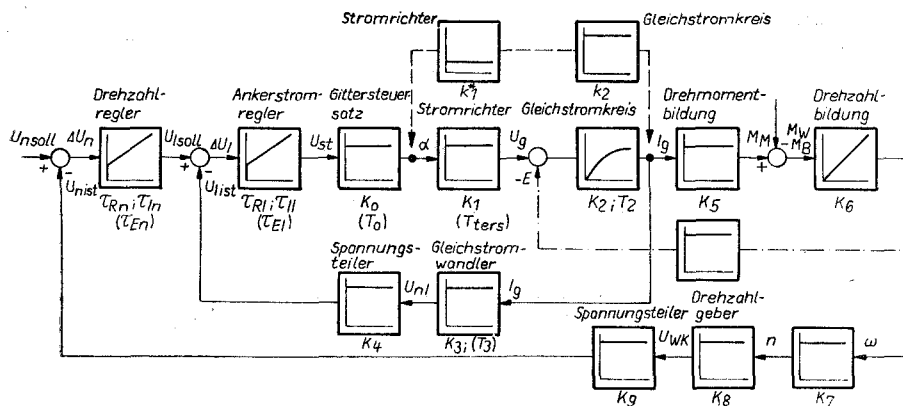


Bild 2

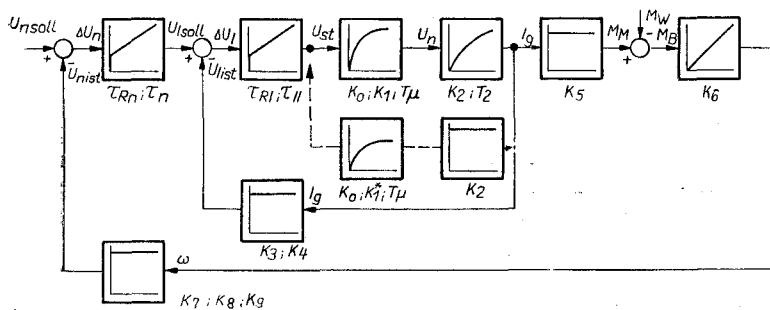


Bild 3

Bilder 2 und 3  
Exaktes und vereinfachtes Signalflußbild der  
Regelschaltung

Zur Untersuchung des Einflusses der Lückung des Ankerstromes auf die Regelung muß vorerst das Übertragungsverhalten der Blöcke Stromrichter und Gleichstromkreis untersucht werden. Da die Ausgangsspannung des Stromrichters  $U_g$  infolge des induktiven Gleichspannungsabfalls vom Strom  $I_g$  abhängig ist, besteht keine Rückwirkungsfreiheit zwischen beiden Blöcken. Es wird aus diesem Grund das Übertragungsverhalten Zündwinkel  $\alpha$  — Ankerstrom  $I_g$  untersucht. Die Bestimmung der statischen Verstärkung dieses Abschnitts wird zweckmäßig mit Hilfe der äußeren Strom-Spannungscharakteristik des mit einer Gegenspannung belasteten Stromrichters bei endlicher Glättungsinduktivität durchgeführt. In Bild 4 ist diese für einen sechspulsigen Stromrichter dargestellt. Es sei besonders auf die unterschiedliche Neigung der  $\bar{U}_g$ - $\bar{I}_g$ -Kennlinien im

Gebiet des lückenden und des lückenlosen Stromes hingewiesen.

Die Bilder 5...9 zeigen, wie der statische Verstärkungsfaktor  $I_g/\alpha$  in beiden Strombereichen bestimmt werden kann [3]. Die für den Lückbetrieb gültigen Größen werden künftig mit einem \* versehen. Bei lückenlosem Strom ist der statische Verstärkungsfaktor vom Arbeitspunkt, d. h. von der Aussteuerung, sowie vom induktiven und Ohmschen Spannungsabfall im Gleichstromkreis abhängig. Er ist weiterhin von der Zündwinkelverlängerung abhängig, auf die die zugehörige Stromänderung bezogen wird. Bei Aussteuerungen zwischen 30 und 90° ist der Unterschied jedoch unerheblich, wenn man die Zündwinkelverlängerung  $\leq 5^\circ$  wählt. Im Gebiet des lückenden Stromes ist der Verstärkungsfaktor außerdem eine Funktion des Stromes selbst, da die  $\bar{U}_g$ - $\bar{I}_g$ -

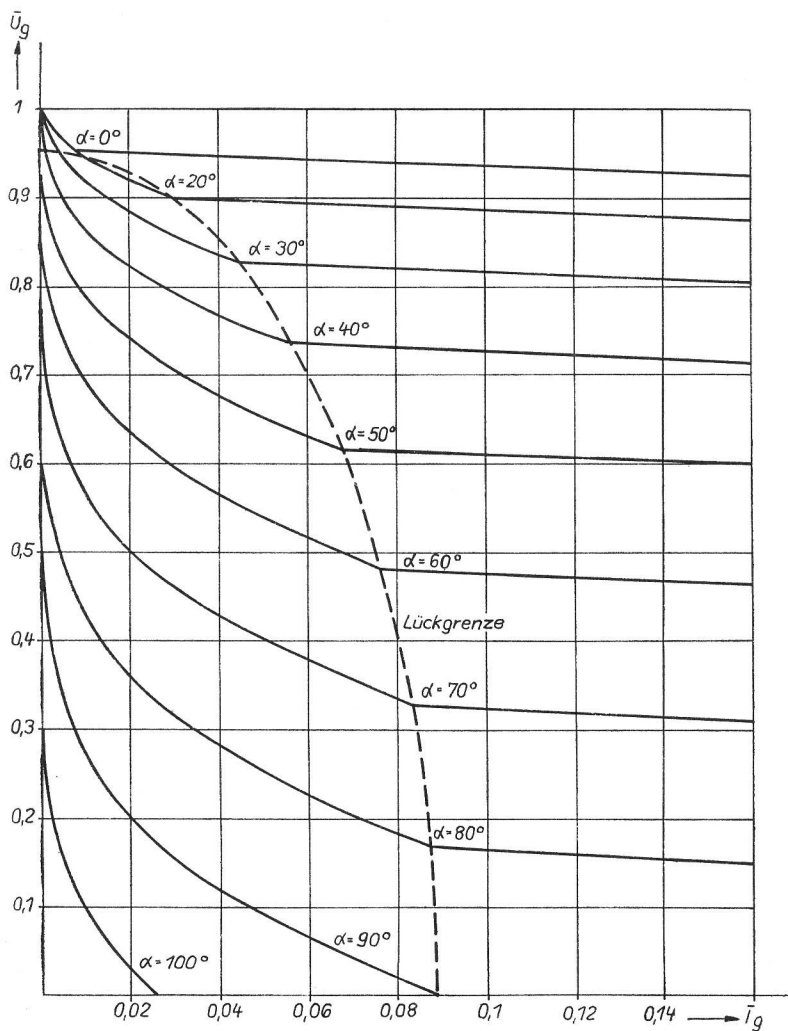


Bild 4  
Äußere Gleichspannung  $\bar{U}_g$  in Abhängigkeit vom  
Belastungsstrom  $\bar{I}_g$  für  $m = 6$

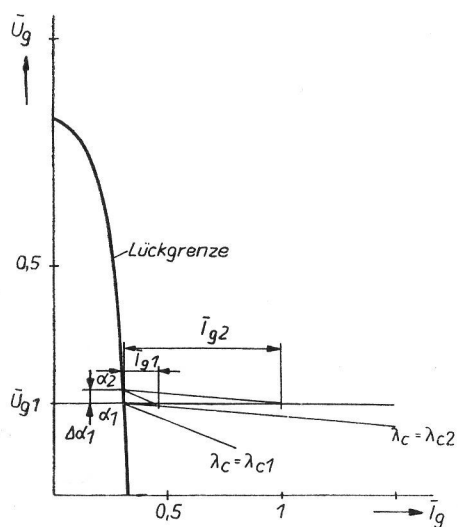


Bild 5

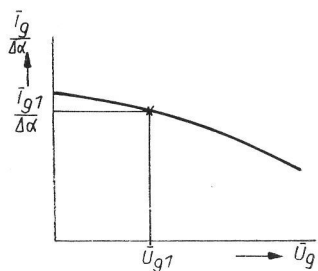


Bild 9

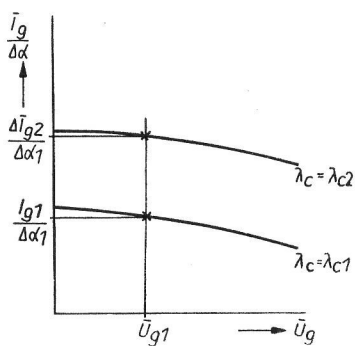


Bild 6

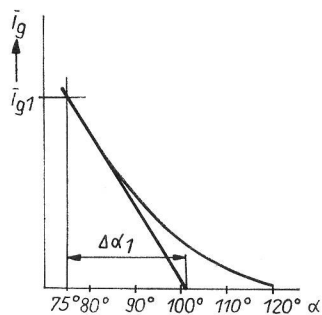


Bild 8

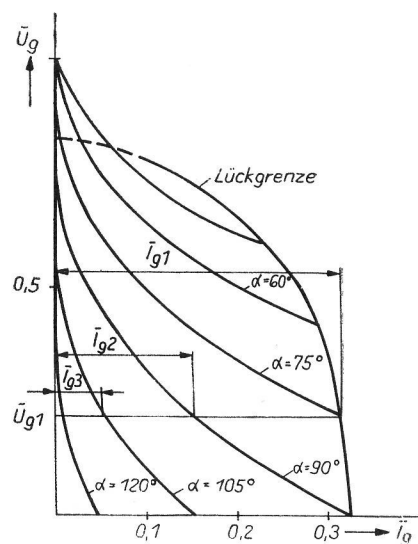


Bild 7

Bilder 5 bis 9  
Grafische Ermittlung des Verstärkungsfaktors bei lückendem und lückenlosem Strom

Kennlinien keine Geraden sind. Um die Verhältnisse nicht übermäßig zu komplizieren, wurde der statische Verstärkungsfaktor aus der Steigung der  $\bar{I}_g$ - $\alpha$ -Kennlinien an der Lückgrenze (Bild 8) berechnet und als gültig für den gesamten Lückbereich angesehen. In Wirklichkeit ist der Verstärkungsfaktor für Ströme, die kleiner als der Lückstrom  $I_{gl}$  sind, kleiner als zuvor berechnet.

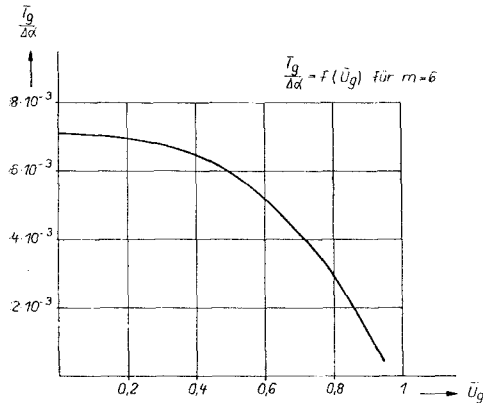


Bild 10  $\frac{\bar{I}_g}{\Delta\alpha} = f(\bar{U}_g)$  an der Lückgrenze für  $m = 6$

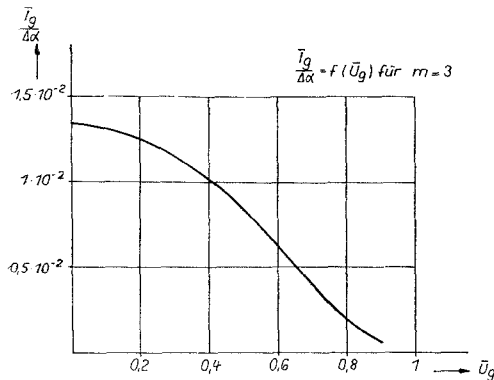


Bild 11  $\frac{\bar{I}_g}{\Delta\alpha} = f(\bar{U}_g)$  an der Lückgrenze für  $m = 3$

In den Bildern 10 und 11 sind die bezogenen Verstärkungsfaktoren bei lückendem Strom für  $m = 6$  und  $m = 3$  und in den Bildern 12 und 13 bei lückenlosem Strom für  $m = 6$  in Abhängigkeit von der inneren Gegenspannung des Motors und damit von der Aussteuerung dargestellt.<sup>1)</sup>

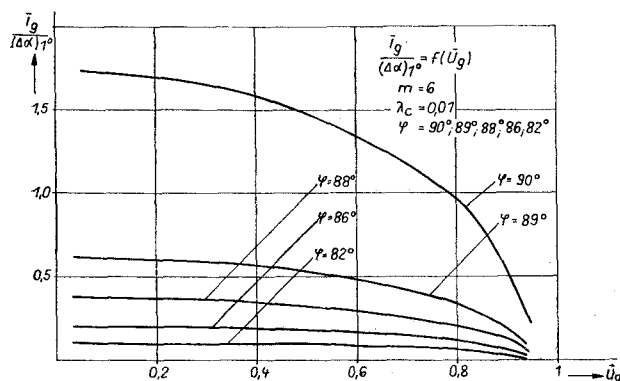


Bild 12

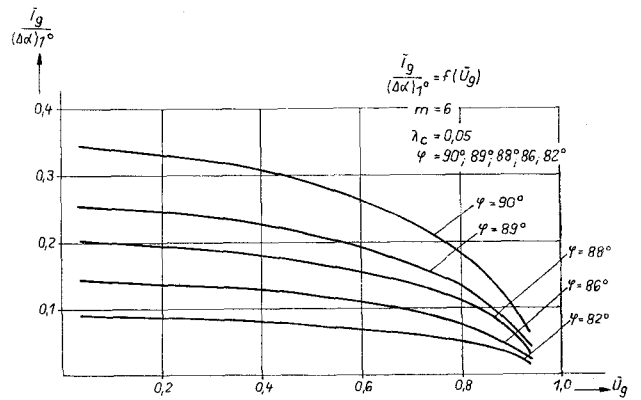


Bild 13

Bilder 12 und 13

Berechneter Verstärkungsfaktor  $\frac{\bar{I}_g}{\Delta\alpha} = f(\bar{U}_g)$  bei lückenlosem Strom ( $m = 6$ )

Man stellt fest, daß die Verstärkungsfaktoren bei lückenlosem Strom 10 ... 50fach größer sind als bei lückendem Strom, wenn in beiden Fällen die gleiche innere Motorgegenspannung angenommen wird. In den Bildern 12 und 13 ist  $\lambda_c$  ein Maß für den induktiven Gleichspannungsabfall und  $\varphi$  ein Maß für den Ohmschen Spannungsabfall. Als Bezugswert für die mit einem Querstrich versehenen bezogenen Spannungen ist der Scheitelwert der sekundären Phasenspannung  $\bar{U}_2$  des Stromrichtertransformators verwendet worden. Als Bezugswert für die Ströme wurde der sogenannte einanodige Kurzschlußstrom verwendet. Er stellt sich in einem Stromkreis ein, in dem eine Wechselspannung mit dem Scheitelwert  $\bar{U}_2$  und eine Reaktanz  $\omega L_1$  wirksam ist.  $L_1$  ist die im Gleichstromkreis wirksame Induktivität, wenn nur eine Anode des Stromrichters brennt [2].

Die Bilder 14 und 15 zeigen vier gemessene Funktionen  $I_g = f(U_{st})$  mit den Parametern Aussteuerung bzw. Drehzahl und Induktivität des Gleichstromkreises. Da die Zuordnung  $U_{st} \rightarrow \alpha$  linear ist, kann aus diesen Kennlinien der statische Verstärkungsfaktor  $I_g/\alpha$  gewonnen und den berechneten Werten gegenübergestellt werden.

Neben der Veränderung der statischen Verstärkung des Abschnitts Stromrichter—Gleichstromkreis ist beim Übergang von lückenlosem zu lückendem Strom die Veränderung der Ankerkreiszeitkonstanten zu beachten. Wegen des reinen Impulstribs bei lückendem Strom wird die Zeitkonstante des Ankerkreises unwirksam [1]. Im Lückbetrieb wird zwar die Form der Stromimpulse von der im Ankerkreis wirksamen Induktivität beeinflusst; unabhängig von der Form der Stromimpulse stellt sich aber bei einer sprunghaftigen Zündimpulsverschiebung bereits nach Ablauf der Brenndauer der zuerst zur Zündung freigegebenen Anode der stationäre Wert des Ankerstromes ein.

<sup>1)</sup> Die in den Bildern 12 und 13 dargestellten Diagramme stellen nur eine Auswahl dar. Vom Verfasser wurden die statischen Verstärkungsfaktoren bei lückenlosem Strom mittels der in den Bildern 7 ... 9 angegebenen Methode auf einem Digitalrechner für eine größere Zahl von Werten der Parameter  $\lambda_c$  und  $\varphi$  sowohl für  $p = 6$  als auch für  $p = 3$  berechnet.

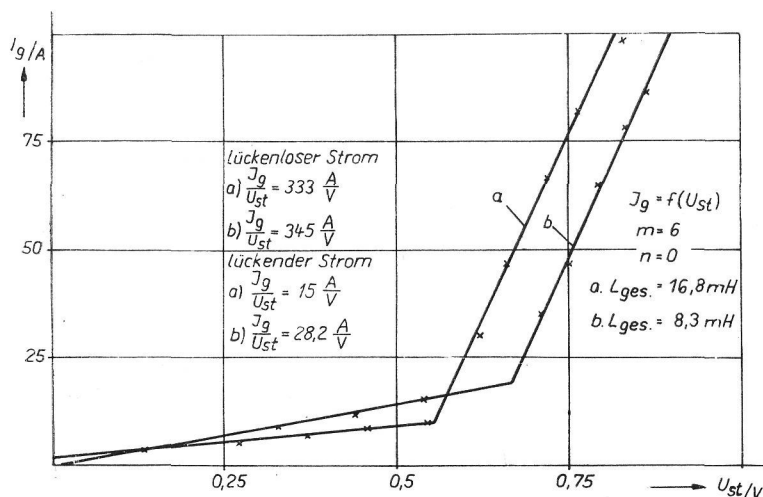


Bild 14

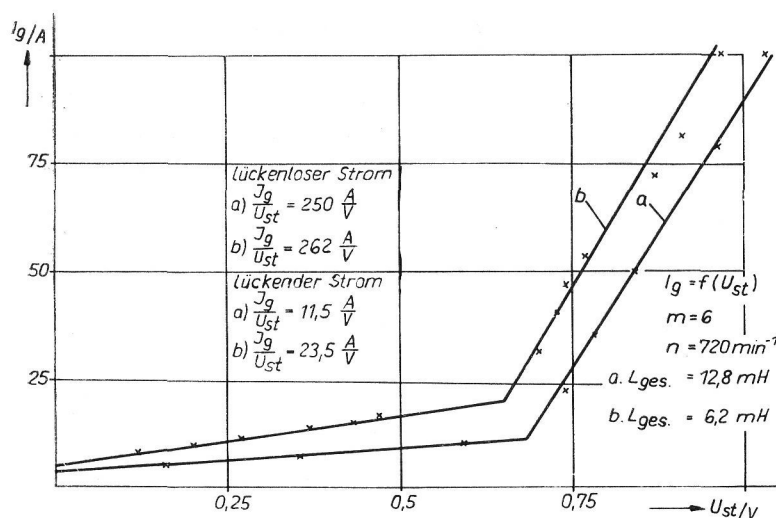


Bild 15

Bilder 14 und 15

$\bar{I}_g = f(U_{st})$  bei  $n = 0$  und  $720 \text{ min}^{-1}$  ( $m = 6$ )

In Bild 16 wird dieser Sachverhalt an Hand eines Oszillogramms nachgewiesen. Zum Vergleich ist eine Übergangsfunktion des Ankerstromes dargestellt, wobei der Strom nur im Gebiet des lückenlosen Stromes verläuft (Bild 17).

Zum Abschluß der Betrachtungen, die sich mit der Kennwertermittlung der Stromregelstrecke befassen, ist in Bild 18 eine Zusammenstellung gemessener und berechneter Verstärkungsfaktoren bei lückendem und lückenlosem Strom gezeigt, der die Verstärkungsunterschiede bei einer praktisch ausgeführten An-

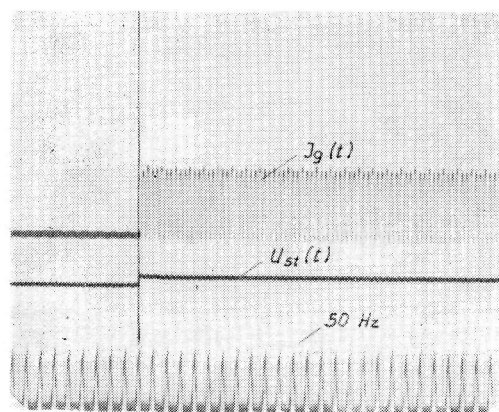


Bild 16 Lückbetrieb

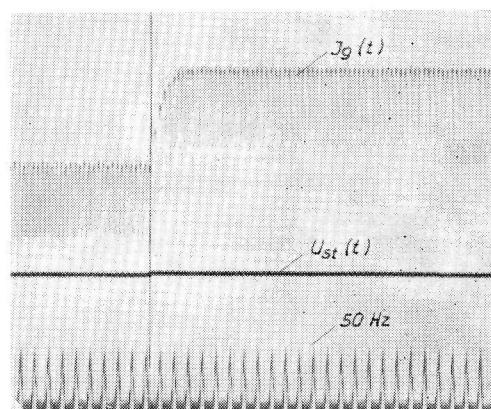


Bild 17 Lückenloser Betrieb

Bilder 16 und 17

Übergangsfunktion des Ankerstromes  $I_g$  (lückend und lückenlos) bei sprunghöflicher Veränderung der Steuerspannung  $U_{st}$

lage (40 kW, sechspulsig) entnommen werden können. Von besonderem Interesse ist Zeile 14. Die dort angegebenen Zahlen stellen Quotienten aus den statischen Verstärkungsfaktoren der Stromregelstrecke bei lückenlosem und bei lückendem Strom dar.

1	Pulszahl $p$				6				3		
2	Motordrehzahl $n$	min <sup>-1</sup>	720		0		720		0		
3	zulässige effektive Strom- welligkeit $w_{\text{eff}}$ , bezogen auf den Nennstrom	%	5	10	5	10	5	10	5	10	
lückenloser Strom	4	$\bar{k}_1 \bar{k}_2$ (voraus berechnet)	grd <sup>-1</sup>	0,081 bis 0,086	×	0,143 bis 0,156	0,081	0,207	0,1 bis 0,13	0,49	0,24 bis 0,34
	5	$k_1 k_2$ (voraus berechnet)	A grd <sup>-1</sup>	13,2 bis 14	×	17,9 bis 19,5	20,2	9,5	9,2 bis 11,9	16,4	16,1 bis 22,8
	6	$k_0 k_1 k_2$ (voraus berechnet)	AV <sup>-1</sup>	223 bis 237	×	303 bis 330	342	160	155 bis 201	277	383 bis 272
	7	$k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 = V_{sI}$ (voraus berechnet)	V V <sup>-1</sup>	13,4 bis 14,2	×	18,2 bis 19,8	20,5	9,6	9,3 bis 12	16,6	23,0 bis 16,3
	8	$k_0 k_1 k_2 = a$ (gemessen)	AV <sup>-1</sup>	250	262	333	345	175	185	263	270
lückender Strom	9	$\bar{k}_1^* \bar{k}_2^*$ (voraus berechnet)	grd <sup>-1</sup>	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7,05$ $10^{-3}$	$7,05$ $10^{-3}$	$0,68$ $10^{-2}$	$0,68$ $10^{-2}$	$1,32$ $10^{-2}$	$1,32$ $10^{-2}$
	10	$k_1^* k_2^*$ (voraus berechnet)	A grd <sup>-1</sup>	0,815	1,68	0,88	1,76	0,31	0,63	0,44	0,88
	11	$k_0 k_1 k_2^{**}$ (voraus berechnet)	A V <sup>-1</sup>	12,95	28,4	14,0	29,7	5,24	10,06	7,44	14,0
	12	$k_0 k_1^* k_2^* k_3^* k_4^* = V_{sI}^*$ (voraus berechnet)	V V <sup>-1</sup>	0,78	1,70	0,84	1,78	0,31	0,64	0,45	0,84
	13	$k_0 k_1^* k_2^* = b$ (gemessen)	A V <sup>-1</sup>	11,5	23,5	15	28,2	4,6	9,8	5,9	9,5
	14	$\frac{a}{b} = \frac{V_{sI}}{V_{sI}^*}$		21,8	19,2	22,2	12,2	38,0	18,9	44,6	28,4
	15	Zeitkonstante des Anker- kreises $T_2$ (aus $L$ - $R$ -Messung)	ms	31,2	15,5	40,5	20,5	104	53,5	139	73
	16	Zeitkonstante des Anker- kreises $T_2$ (aus Übergangsfunk- tion)	ms	35	19	44	26	85	58	120	85

Bild 18 Zusammenstellung berechneter und gemessener Verstärkungsfaktoren des offenen Stromregelkreises

Zusammenfassend ist festzustellen, daß bei Betrieb mit lückenlosem Strom das Signalfußbild entsprechend Bild 2 gilt. Bei lückendem Strom ist dieses Signalfußbild dahingehend abzuwandeln, daß hier das Signal vom Ausgang des Blockes Gittersteuersatz entlang der gestrichelten Linie über die Blöcke Stromrichter und Gleichstromkreis zum Block Drehmomentbildung verläuft. Das vereinfachte Signalfußbild in Bild 3 ist analog abzuwandeln.

Das Verhalten der Stromregelstrecke bei Überschreiten der Lückgrenze entspricht einer Strukturänderung in Abhängigkeit vom Ankerstrom und der Aussteuerung.

### 3.2. Logarithmische Frequenzkennlinien bei lückenlosem und lückendem Strom

Da Gleichstromantriebe vorwiegend im Gebiet des lückenlosen Stromes betrieben werden, ist es naheliegend, Strom- und Drehzahlregler entsprechend den Daten der Stromregelstrecke bei lückenlosem Strom einzustellen und dann das dynamische Verhalten des Antriebs in beiden Strombereichen zu untersuchen. Zum Vergleich sind die logarithmischen Amplituden- und Phasenkennlinien des offenen Strom- und des offenen Drehzahlregelkreises für lückenden und lückenlosen Strom mit der obengenannten Reglereinstellung in Bild 19 dargestellt.

Der Stromregler ist betragsoptimal und der Drehzahlregler symmetrisch optimal eingestellt. Man erkennt

die erhebliche Verringerung der Schnittfrequenz des offenen Stromregelkreises und die Vergrößerung des Phasenrandes bei lückendem Strom. Der Drehzahlregelkreis ist bei lückendem Strom sogar instabil. Leider gestatten die Frequenzkennlinien keine Aussage über das Verhalten der Anlage beim Übergang von einem in das andere Stromgebiet infolge von Last- und Sollwertänderung. Hierzu kann vorteilhaft der Analogrechner eingesetzt werden.

Hier soll das Verhalten des Antriebs bei Betrieb mit lückendem Strom nur an Hand von zwei Oszillogrammen gezeigt werden (Bilder 20 und 21). Die Schwingungen der Drehzahl und des Stromes im oberen Oszillogramm sind nicht Folge der aus der Frequenzkennlinie des offenen Drehzahlregelkreises ersichtlichen Instabilität im Lückbetrieb. Sie resultieren vielmehr aus den natürlichen Begrenzungen des Lückbereichs — nach unten durch die Ventilwirkung des Stromrichters und nach oben durch den Übergang in das Gebiet des lückenlosen Stromes. Wie dem Verfasser bekannt ist, sind derartige Schwingerscheinungen auch schon bei Stromrichterantrieben größerer Leistung beobachtet worden. Das Oszillogramm auf Bild 21 zeigt den Strom- und Drehzahlgleichungsvorgang, wenn die Last plötzlich in dem Maße vergrößert wird, daß der neue Arbeitspunkt des Antriebs im Gebiet des lückenlosen Stroms liegt. Die Regelung des Antriebs arbeitet nach Abklingen der Ausgleichsvorgänge wieder ordnungsgemäß.

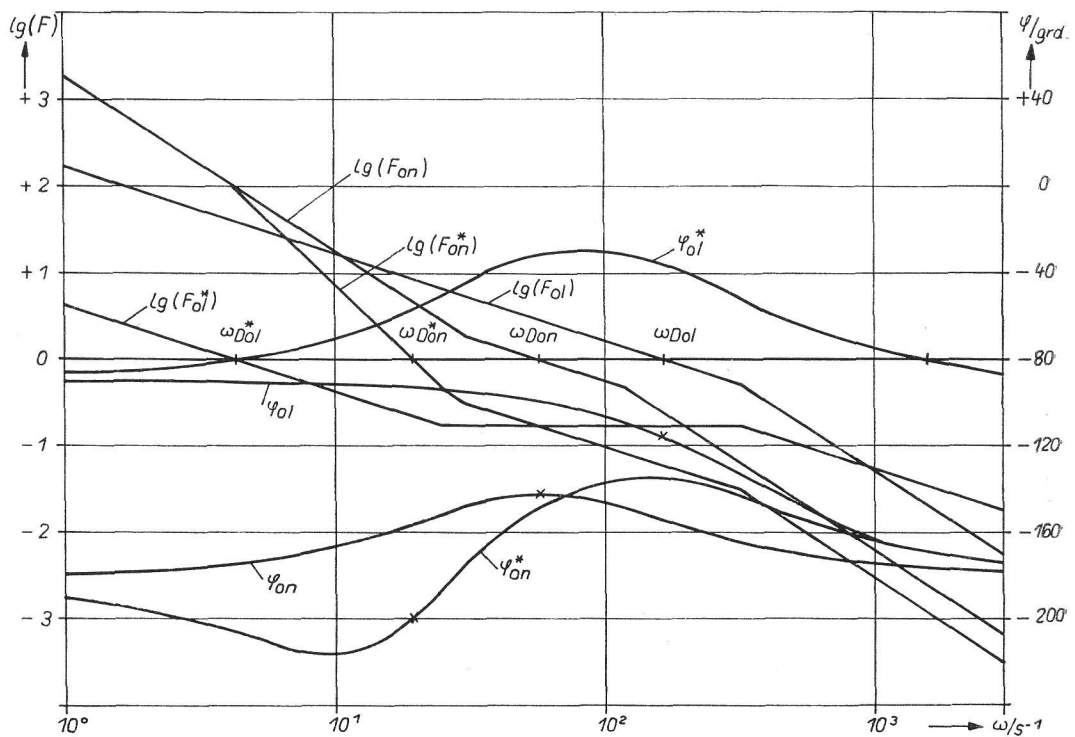


Bild 19 AFK und PFK des offenen Strom- sowie Drehzahlregelkreises bei lückendem und lückenlosem Betrieb

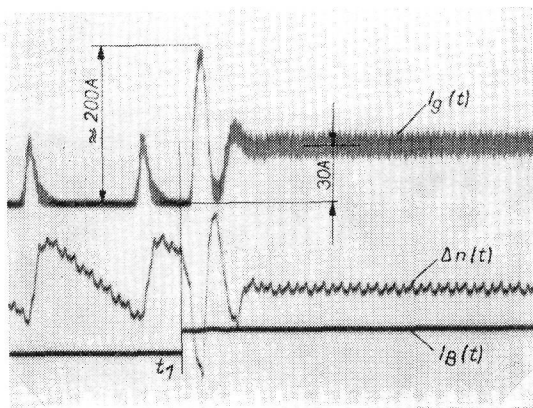


Bild 20

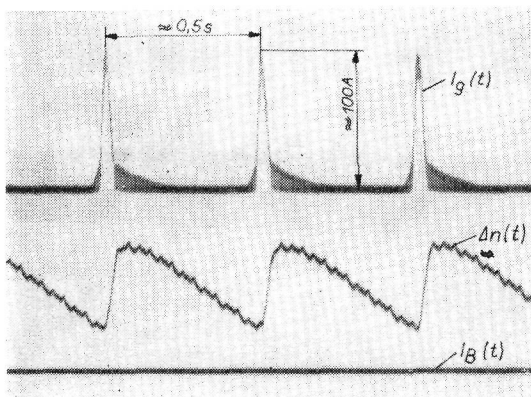


Bild 21

Bild 20 und 21 Strom- und Drehzahlsschwingungen bei lückendem Strom

Eine Beeinflussung der Dynamik des Antriebs im Bereich des lückenlosen Stromes bei erhöhter Stromwelligkeit (bis 15 %) konnte nicht beobachtet werden.

Es ist zu bemerken, daß der Betrieb des Antriebs auch dann keine Schwierigkeiten bereitet, wenn dieser in einer offenen Steuerkette angeordnet ist.

#### 4. Die Parametersteuerung zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens des drehzahlgeregelten Stromrichterantriebs im Lückbetrieb

##### 4.1. Lösungsweg

Wie aus dem zuvor gezeigten Oszillogramm hervorgeht, ist ein ordnungsgemäßer Betrieb des geregelten Antriebs bei lückendem Strom und der angegebenen Reglereinstellung nicht möglich. Da die Mehrzahl der Stromrichterantriebe in geschlossenen Regelkreisen betrieben werden, müssen die Bestrebungen darauf gerichtet sein, unerwünschte Auswirkungen der Strukturänderung der Stromregelstrecke beim Überschreiten der Lückgrenze zu beseitigen. Das Ziel ist, im Bereich kleiner Ströme ein gleich gutes dynamisches Verhalten wie im übrigen Strombereich zu gewährleisten. Zumindest müssen die Schwingungen durch geeignete Maßnahmen unterdrückt werden. Die bisher einzige Möglichkeit bestand darin, eine solche Glättungsinduktivität in den Gleichstromkreis einzuschalten, daß auch bei den kleinsten im Betrieb vorkommenden Strömen keine Lücken des Ankerstromes und damit keine Strukturänderung auftritt. Eine andere Lösung besteht darin, die Reglereinstellung, d. h. die Rückführbeschaltung bei Überschreiten der Lückgrenze, so selbsttätig zu verändern, daß das genannte Ziel erreicht wird. Es wäre eine Erhöhung der Verstärkung des Stromreglers bei lückendem Strom denkbar. Die notwendige Erhöhung übersteigt gewöhnlich die mögliche Erhöhung, die durch Veränderung der Rückführwiderstände zulässig ist. Aus diesem Grunde wurde die Rückführbeschaltung sowohl des Stromreglers



als auch des Drehzahlreglers beim Übergang in den Lückbetrieb verändert. Die Veränderung wurde so vorgenommen, daß auch bei Lückbetrieb im Frequenzkennlinienbild möglichst die gleiche Schnittfrequenz und der gleiche Phasenrand vorhanden ist wie bei lückenlosem Strom.

#### 4.2. Praktische Ausführung

Der praktischen Ausführung liegt die Annahme zugrunde, daß die Parameter innerhalb der beiden Strombereiche als konstant angenommen werden können. Es sind demnach zwei Reglereinstellungen in Abhängigkeit vom Strom im Gleichstromkreis zu realisieren. Die Umschaltung muß jeweils bei Überschreitung der Lückgrenze vorgenommen werden. Theoretisch kann das Auftreten stromloser Pausen bei lückendem Strom als Steuersignal verwendet werden. Praktisch ist die Erfassung jedoch aufwendig und unbefriedigend. Wie das Experiment gezeigt hat, kann der Mittelwert des Gleichstromes an der Lückgrenze in vielen Fällen ebenfalls als Umschaltsignal verwendet werden, obwohl sich dieser mit abnehmendem Zündwinkel verkleinert. Im Experiment wurde der Gleichstrommittelwert bei einer mittleren Aussteuerung (etwa  $\alpha = 50^\circ$ ) als Umschaltsignal verwendet. Es zeigte sich, daß sich das geringfügig zu frühe Umschalten bei kleineren Zündwinkeln und das geringfügig zu späte Umschalten bei größeren Zündwinkeln nicht wesentlich auswirken. Das gleiche gilt für den Einfluß der Ansprechzeit, der für die Umschaltung der Rückführwiderstände verwendeten Hilfsrelais. Bild 22 zeigt die Logikschaltung zur Erfassung der Lückgrenze und zur Umschaltung der Rückführwiderstände.

#### 4.3. Versuchsergebnisse [4]

Die angestellten Überlegungen wurden an einem dreipulsigen Stromrichterantrieb experimentell überprüft. In den Bildern 23 und 24 sind zwei Oszillogramme von Strom- und Drehzahlübergangsfunktionen bei sprungförmiger Belastung zu sehen. Der Antrieb ist jetzt im Lückbetrieb stabil. Das dynamische Verhalten von Strom und Drehzahl entspricht näherungsweise der symmetrischen optimalen Einstellung des Drehzahlregelkreises.

Die von uns untersuchte Parametersteuerung ist nur bei solchen Antrieben sinnvoll einsetzbar, die sta-

tionär bei Nennlast und im Leerlauf betrieben werden, d. h., bei denen die Lückgrenze infolge von Laständerungen relativ schnell überschritten wird. Der Antrieb kann mit dieser Art der Parametersteuerung

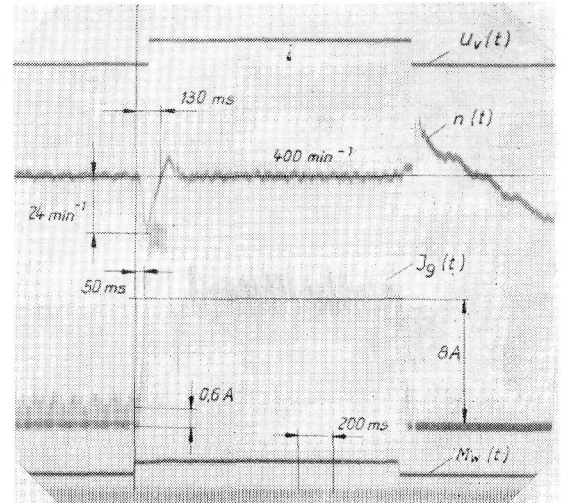


Bild 23

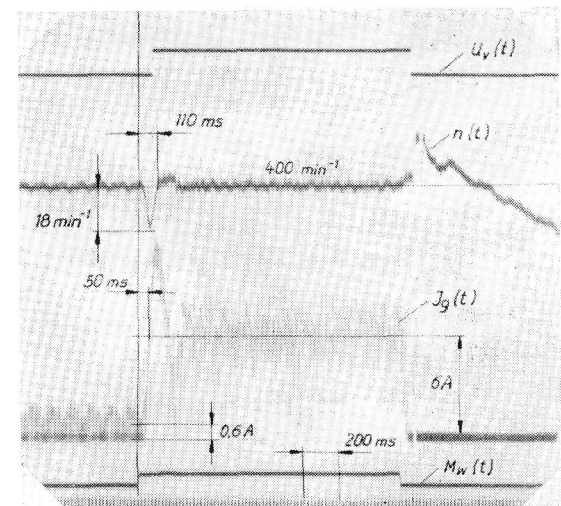


Bild 24

Bild 23 und 24

Übergangsfunktionen der Drehzahl  $n$  und des Ankerstromes  $I_g$  bei sprungartiger Belastung des Antriebs mit Parametersteuerung

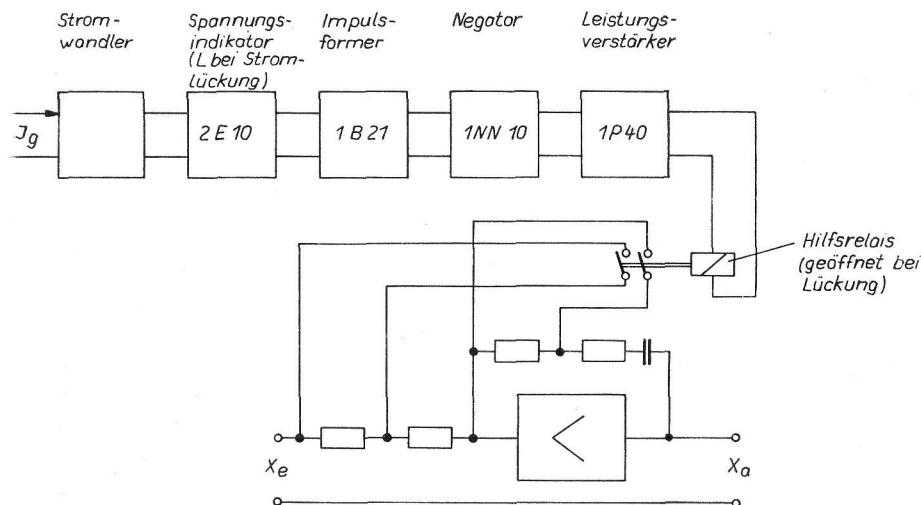


Bild 22

Schaltung zum Nachweis der Lückgrenze und zur Steuerung der Reglerückführung

nicht bei Gleichstrommittelwerten arbeiten, die gleich dem an der Lückgrenze sind. Der Spannungsindikator schaltet in solchen Fällen dauernd zwischen O und L, und der Antrieb arbeitet sehr unregelmäßig. Dieser Nachteil ließe sich vermeiden, wenn an Stelle der sprungartigen Umschaltung der Rückführbeschaltung von Strom- und Drehzahlregler eine stetige Steuerung derselben in Abhängigkeit vom Gleichstrommittelwert und der Aussteuerung vorgenommen würde. Diese Maßnahme würde den wirklichen Verhältnissen besser gerecht, da sich die Verstärkung der Stromregelstrecke in einer realen Anlage nicht plötzlich ändert, sondern die Veränderung in einem endlichen, wenn auch relativ kleinen Strombereich stattfindet.

#### Literatur

- [1] *Bühler*: Einführung in die Theorie geregelter Gleichstromantriebe. Birkhäuser-Verlag, Basel und Stuttgart 1962.
- [2] *Eggenberger*: Strom-Spannungstheorie eines gesteuerten *m*-Phasen-Stromrichters bei Belastung auf konstante Gegenspannung mit endlicher Glättungsdrösselspule. Dissertation an der ETH Zürich 1957.
- [3] *Gens*: Einfluß der Glättungsinduktivität auf das dynamische Verhalten des drehzahlgeregelten Stromrichterantriebs im Einrichtungsbetrieb. Dissertation an der TH Ilmenau 1966.
- [4] *Jungnickl*: Entwurf und Erprobung von Schaltungen zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens eines geregelten Stromrichterantriebs im Lückbetrieb. Diplomarbeit an der TH Ilmenau 1966 (unveröffentlicht).

Vorgetragen am 17. 10. 1966

Verfasser:

Dr.-Ing. Wolfgang Gens, wiss. Oberassistent am Institut für elektromotorische Antriebe der TH Ilmenau.